

Peningkatan Produktivitas Tanaman Melalui Sistem Pencahayaan *Greenhouse* Berbasis *Internet of things*

Melani Widiyaningsih¹, Priswanto², Hesti Susilawati³

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik,

Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

¹melani.widiyaningsih@mhs.unsoed.ac.id, ²priswanto@unsoed.ac.id,

³hesti.susilawati@unsoed.ac.id

Abstrak

Pencahayaan yang memadai sangat penting untuk pertumbuhan tanaman di *greenhouse*, terutama di wilayah dengan cahaya matahari terbatas. Penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian pencahayaan otomatis berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM-32U dan sensor BH1750FVI. Sistem memastikan tanaman menerima minimal 10 jam cahaya per hari melalui *light emitting diode* (LED) *grow light*, dengan akurasi sensor 99,81%. Data intensitas cahaya dipantau melalui Node-RED, *IoT message queue telemetry transport* (MQTT) Panel, dan *liquid crystal display* (LCD), serta disimpan di *Google Spreadsheets*. Hasil pengujian menunjukkan sistem ini efektif meningkatkan produktivitas tanaman dengan pencahayaan yang konsisten dan efisien, mendukung aplikasi elektroteknika dalam pertanian modern.

Kata kunci: *greenhouse*, pencahayaan, IoT, ESP32 WROOM-32U, MQTT

Abstract

Adequate lighting is essential for plant growth in greenhouses, especially in areas with limited sunlight. This study develops an internet of things (IoT)-based automatic lighting control system using the ESP32 WROOM-32U microcontroller and BH1750FVI sensor. The system ensures that plants receive at least 10 hours of light per day through *light emitting diode* (LED) *grow lights*, with a sensor accuracy of 99.81%. Light intensity data is monitored via Node-RED, *IoT message queue telemetry transport* (MQTT) Panel, and *liquid crystal display* (LCD), and stored in *Google Spreadsheets*. Test results show that this system is effective in increasing plant productivity with consistent and efficient lighting, supporting electrotechnical applications in modern agriculture.

Keywords: *greenhouse*, lighting, IoT, ESP32 WROOM-32U, MQTT

1. Pendahuluan

Pencahayaan merupakan faktor kunci dalam fotosintesis, pertumbuhan daun, dan ketahanan tanaman terhadap penyakit di *greenhouse* [1], [2]. Keterbatasan cahaya alami, terutama selama musim hujan atau di daerah dengan intensitas cahaya matahari rendah, sering menghambat produktivitas tanaman [3]. Di Indonesia, perubahan iklim ekstrem memperparah tantangan ini, mendorong kebutuhan akan teknologi untuk mengelola

Received: 29 April 2025

Revised: 13 Juni 2025

Accepted: 1 Juli 2025

lingkungan *greenhouse* secara efisien [4]. Penelitian sebelumnya [5], [6] menunjukkan bahwa pencahayaan buatan, seperti *light emitting diode* (LED) *grow light*, dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman melalui penyediaan spektrum cahaya yang optimal. Teknologi *internet of things* (IoT) memungkinkan otomatisasi dan *monitoring* jarak jauh, meningkatkan efisiensi pengelolaan *greenhouse* [7], [8]. Protokol *message queue telemetry transport* (MQTT), dengan model *publish/subscribe*, telah terbukti andal untuk komunikasi data pada perangkat IoT dengan sumber daya terbatas [9], [10].

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pencahayaan otomatis berbasis IoT yang mampu memastikan tanaman di *greenhouse* mendapatkan pencahayaan minimal 10 jam per hari secara efisien dan mandiri. Penelitian ini juga menyajikan kebaruan berupa integrasi sistem dengan *real time clock* (RTC), protokol MQTT, dan IoT MQTT Panel untuk otomatisasi pencahayaan berbasis durasi waktu aktual. Integrasi sistem pencahayaan otomatis berbasis IoT yang dilengkapi dengan modul RTC untuk pengaturan durasi pencahayaan secara presisi tanpa campur tangan manusia, serta penggunaan IoT MQTT Panel untuk fleksibilitas kendali dan pemantauan dari jarak jauh belum banyak digunakan pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini menerapkan otomatisasi pencahayaan berdasarkan durasi waktu aktual yang diperoleh tanaman dalam sehari secara *real-time*.

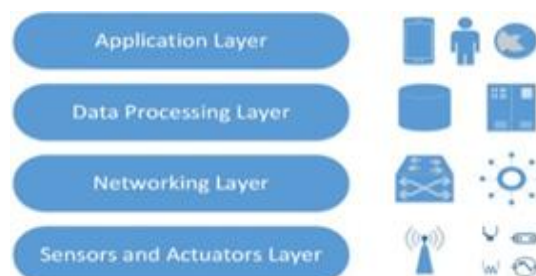
2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pencahayaan Buatan

Pencahayaan buatan telah lama digunakan untuk mendukung pertumbuhan tanaman di *greenhouse*. Spektrum cahaya merah dan biru sangat efektif untuk fotosintesis dan meningkatkan efisiensi kuantum tanaman [1]. LED *grow light* lebih hemat energi dibandingkan lampu fluoresens, sekaligus meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama melalui paparan sinar UV [2]. Sistem pencahayaan LED otomatis dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30% dibandingkan metode manual, dengan peningkatan hasil panen hingga 15% pada tanaman [6].

2.2. Internet of Things

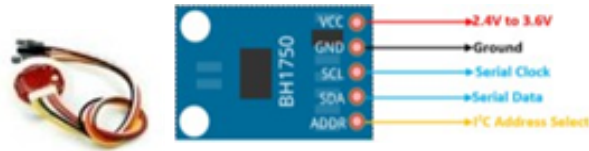
Teknologi IoT telah merevolusi pengelolaan *greenhouse*. Al-Shehari dan Al-Aghbari [10] menyoroti keunggulan protokol MQTT dalam aplikasi pertanian karena latensi rendah dan skalabilitasnya. Pada perancangan sistem pemantauan *greenhouse* berbasis ESP32, tercatat akurasi sensor hingga 98% dalam pengukuran lingkungan [11]. IoT dapat diintegrasikan untuk pengendalian pencahayaan *greenhouse*, menunjukkan peningkatan produktivitas tanaman hortikultura sebesar 12% melalui pencahayaan terkontrol [12]. Lapisan dari IoT dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lapisan IoT

2.3. Sensor BH1750FVI

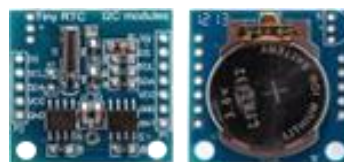
Sensor BH1750FVI banyak digunakan dalam aplikasi IoT karena sensitivitasnya terhadap cahaya [13]. Sensor ini ideal untuk lingkungan pertanian dengan rentang pengukuran hingga 65.535 lux dan konsumsi daya rendah [14]. Penelitian ini menggabungkan ESP32, BH1750FVI, dan MQTT untuk menciptakan sistem pencahayaan yang akurat dan efisien. Sensor BH1750FVI dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor BH1750FVI

2.4. RTC DS1307

RTC memiliki fungsi untuk menghitung waktu dengan akurat, termasuk tahun, bulan, hari, jam, menit, dan detik. RTC juga bisa menghitung hari dalam seminggu, dan beberapa versi bahkan memiliki berbagai fitur tambahan seperti alarm atau kalender [15]. RTC DS1307 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. RTC DS1307

2.5. Protokol MQTT

MQTT merupakan protokol untuk komunikasi yang bersifat *machine to machine* (M2M). Protokol ini menggunakan metode komunikasi *publish/subscribe* sebagai metode pengiriman yang digunakan oleh protokol MQTT. Pesan pada MQTT dikirim ke *broker* dan berisi topik yang dikirimkan oleh *publisher*. Kemudian topik tadi diolah untuk diteruskan ke *subscriber* berdasarkan dari permintaan pengguna [16].

2.6. IoT MQTT Panel

IoT MQTT Panel adalah aplikasi android yang didesain untuk dapat memonitor dan mengontrol perangkat IoT menggunakan protokol MQTT. Aplikasi ini memiliki kemampuan untuk menampilkan data secara *real-time* dan memberikan kontrol yang mudah terhadap perangkat IoT. IoT MQTT Panel dapat dilihat pada Gambar 4.

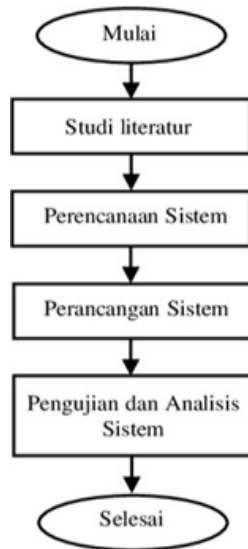


Gambar 4. IoT MQTT panel

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode rancang bangun dan eksperimental, dimana dibuat sebuah sistem *monitoring* dan pengendalian otomatis pencahayaan *greenhouse*

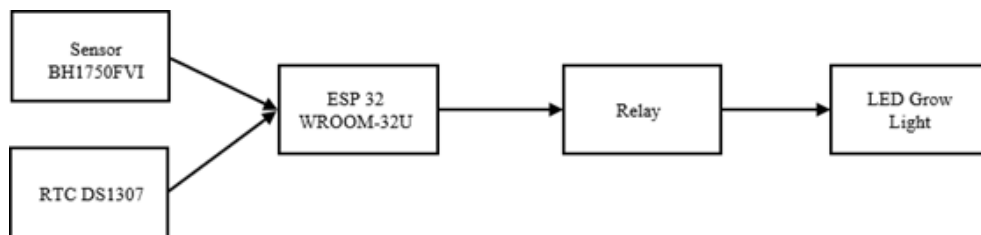
berbasis *internet of things*. Alur dari penelitian dapat dilihat pada *flowchart* yang ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Alur penelitian

3.1. Desain Sistem

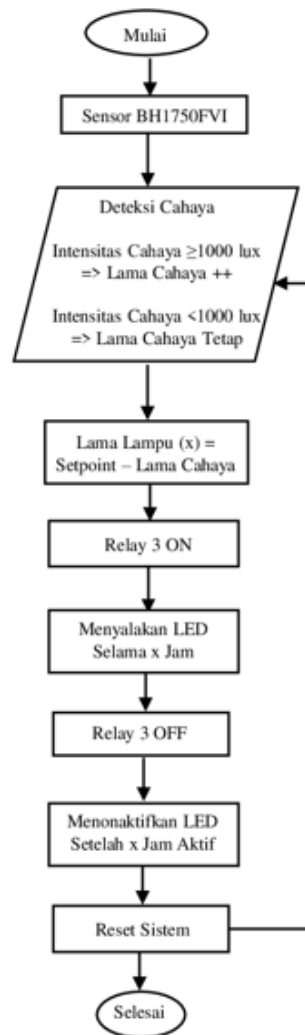
Sensor BH1750FVI akan mengukur intensitas cahaya, kemudian diproses oleh ESP32 WROOM-32U. Pada mode otomatis, LED *grow light* akan menyala sesuai dengan *relay* jika durasi cahaya (≥ 1000 lux) kurang dari 10 jam per hari, dihitung dengan mengurangi durasi cahaya alami dari *set point* [2]. RTC DS1307 memastikan *reset* harian [15]. Mode manual memungkinkan kontrol melalui tombol atau IoT MQTT Panel. Selain itu, data juga akan ditransmisikan ke MQTT *broker*, ditampilkan pada *user interface* aplikasi IoT MQTT Panel, serta disimpan di *Google Spreadsheets* [10]. Diagram blok dari sistem ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Diagram blok sistem

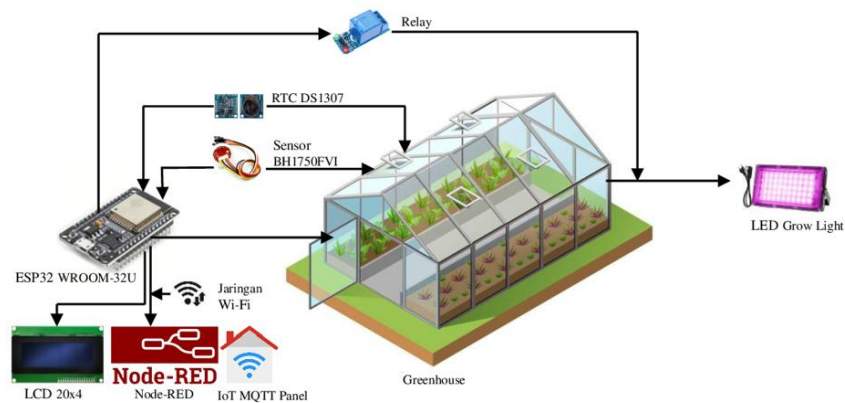
Sistem ini bekerja secara otomatis berdasarkan waktu yang telah ditentukan oleh modul RTC, serta dapat dikendalikan secara manual melalui permintaan pembacaan dan pengendalian dari *smartphone* menggunakan aplikasi IoT MQTT Panel. Ketika intensitas cahaya memenuhi, yaitu ≥ 1000 lux, maka lama cahaya terhitung bertambah, namun jika cahaya tidak memenuhi maka lama cahaya tetap. Selanjutnya dilakukan perhitungan berapa lama LED *grow light* akan menyala, yaitu dengan mengurangi nilai *set point* (10 jam) dengan lamanya cahaya yang didapat selama satu hari. Setelah didapat nilai perhitungan lama LED *grow light* menyala, maka *relay* 3 ON dan LED *grow light* akan menyala sesuai durasi yang telah ditentukan. Jika LED *grow light* sudah menyala sesuai dengan durasi yang telah ditentukan, maka *relay* 3 akan kembali OFF dan LED akan padam. *Reset* sistem

secara otomatis untuk perhitungan waktu pencahayaan juga akan dilakukan setiap hari. *Flowchart* dari pengendalian otomatis sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Flowchart* sistem

Desain dari perancangan sistem pada *greenhouse* ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Desain perancangan sistem

3.2. Prosedur Pengujian

Pengujian sistem meliputi beberapa tahapan, diantaranya:

1. Kalibrasi sensor BH1750FVI dibandingkan dengan alat ukur konvensional *luxmeter*.
2. Pengujian respon LED *grow light* berdasarkan *set point* (cahaya <10 jam/hari).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan *luxmeter*. Selanjutnya sensor dikalibrasi dengan menambahkan faktor kalibrasi pada program yang didapat dari selisih pembacaan sensor dan *luxmeter* sebelum kalibrasi. Setelah itu, akurasi sensor dari pembacaan sebelum dan setelah kalibrasi akan dibandingkan ulang. Hasil pengujian sensor dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengujian pembacaan sensor sebelum kalibrasi

Sampel	Sensor(x)	Luxmeter (xi)	Perbandingan (lx:xi)	Selisih (lx- xi)	(x-xi) ²	(x-μ)	(x-μ) ²
1	4,17 lux	20 lux	1 : 4,78	15,83	250,5889	-226,914	51489,9634
2	20 lux	40 lux	1 : 2	20	400	-211,084	44556,45506
3	19,17 lux	70 lux	1 : 3,65	50,83	2583,6889	-211,914	44907,5434
4	255 lux	1230 lux	1 : 4,8	975	950625	23,916	571,975056
5	1025 lux	3887 lux	1 : 3,79	2862	8191044	793,916	630302,6151
6	960 lux	3794 lux	1 : 3,95	2834	8031556	728,916	531318,5351
7	12,5 lux	60 lux	1 : 4,8	47,5	2256,25	-218,584	47778,96506
8	10,83 lux	30 lux	1 : 2,78	19,17	367,4889	-220,254	48511,82452
9	1,67 lux	7 lux	1 : 4,19	5,33	28,4089	-229,414	52630,7834
10	2,5 lux	10 lux	1 : 4	7,5	56,25	-228,584	52250,64506
Jumlah	2310,84	9148	1 : 3,96	6837,16	17179167,68	0	1504319,305
Mean (μ)	231,084	914,8	1 : 3,96	683,716	1717916,768	0	150431,9305

$$n = 10$$

$$\mu = \text{Rata - rata Sensor} = 231,084 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(x-xi)^2}{n}} = \sqrt{\frac{17179167,68}{10}} = 1310,69 \quad (2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{(x-\mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{150431,9305}{10}} = 387,86 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi Sensor} &= 100\% - \left(\frac{|\text{Nilai sensor} - \text{Nilai Referensi}|}{\text{Nilai Referensi}} \times 100\% \right) \\ &= 100\% - \left(\frac{|231,084 - 914,8|}{914,8} \times 100\% \right) = 25,26\% \end{aligned} \quad (4)$$

Tabel 2. Pengujian pembacaan sensor setelah sensor dikalibrasi

Sampel	Sensor (x)	Luxmeter (xi)	Perbandingan (1x:xi)	Selisih (1x- xi)	(x-xi) ²	(x-μ)	(x-μ) ²
1	26,4	28	1 : 1,06	1,6	2,56	-539,88	291470,4144
2	92,4	93	1 : 1,006	0,6	0,36	-473,88	224562,2544
3	23,1	20	1 : 1,56	3,1	9,61	-543,18	295044,5124
4	42,9	42	1 : 1,021	0,9	0,81	-523,38	273926,6244
5	99	100	1 : 1,010	1	1	-467,28	218350,5984
6	234,3	236	1 : 1,007	1,7	2,89	-331,98	110210,7204
7	811,8	813	1 : 1,001	1,2	1,44	245,52	60280,0704
8	1346,4	1346	1 : 1,0003	0,4	0,16	780,12	608587,2144
9	1478,4	1474	1 : 1,003	4,4	19,36	912,12	831962,8944
10	1508,1	1505	1 : 1,002	3,1	9,61	941,82	887024,9124

$$\mu = \text{Rata - rata Sensor} = 556,28 \quad (5)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{(x-xi)^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,78}{10}} = 2,18 \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{(x-\mu)^2}{n}} = \sqrt{\frac{380142,0216}{10}} = 616,55 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{AkurasiSensor} &= 100\% - \left(\frac{|\text{Nilai sensor} - \text{Nilai Referensi}|}{\text{Nilai Referensi}} \times 100\% \right) \\ &= 100\% - \left(\frac{|566,28 - 565,7|}{565,7} \times 100\% \right) = 99,81\% \end{aligned} \quad (8)$$

Berdasarkan hasil pengujian sensor, pembacaan sebelum kalibrasi memiliki perbandingan 1:3,96 dibanding luxmeter, dengan RMSE 1310,69, standar deviasi 387,86, dan akurasi 25,26%. Akurasi sensor kemudian ditingkatkan dengan mengkalibrasi, yaitu menambahkan faktor kalibrasi dalam program “calibrationFactor = 3.96”, dimana setiap pembacaan sensor akan dikalikan 3,96. Setelah kalibrasi, perbandingan pembacaan sensor dengan luxmeter turun menjadi 1:1,001, RMSE berkurang menjadi 2,18, standar deviasi 616,56, dan akurasi naik menjadi 99,81%, menunjukkan hasil pembacaan yang lebih akurat.

4.2. Hasil Pengujian Respon Aktuator

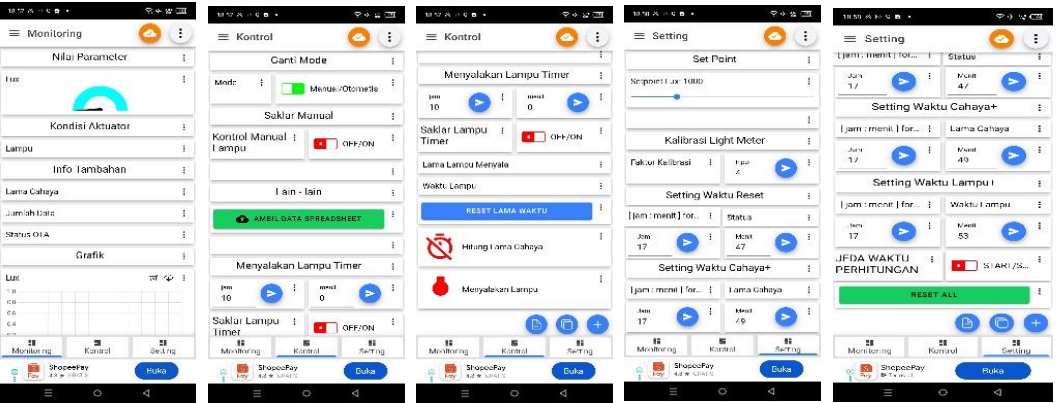
Pengujian respon aktuator dilakukan untuk memastikan relai pada sistem dapat mengendalikan aktuator sesuai *set point* yang telah ditentukan. LED *grow light* menyala jika pencahayaan <10 jam per hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil dibuat dan dapat berfungsi sesuai rencana. LED *grow light* menyala sesuai kekurangan durasi cahaya. Dari tujuh kali pengujian, hasil menunjukkan semua kondisi yang didapat *valid*. Data hasil pengujian respon aktuator dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian intensitas cahaya setelah kalibrasi

Pengujian	1	2	3	4	5	6	7
Tanggal	25/12/2024	25/12/2024	25/12/2024	25/12/2024	25/12/2024	25/12/2024	25/12/2024
Waktu	15:05:03	15:10:05	15:15:03	15:20:10	15:25:02	15:30:10	15:35:08
Intensitas Cahaya	3184 lux	916 lux	3760 lux	2592 lux	2036 lux	2180 lux	3548 lux
Status Lampu	Menyala	Menyala	Menyala	Padam	Menyala	Padam	Menyala
Set point Cahaya	10 jam 0 menit 0 detik	10 jam 0 menit 0 detik	10 jam 0 menit 0 detik	10 jam 0 menit 0 detik	10 jam 0 menit 0 detik	0 jam 2 menit 0 detik	0 jam 2 menit 0 detik
Lama Cahaya yang Diterima	0 jam 0 menit 3 detik	0 jam 0 menit 0 detik	0 jam 2 menit 12 detik	0 jam 0 menit 6 detik	0 jam 0 menit 5 detik	0 jam 0 menit 49 detik	0 jam 0 menit 49 detik
Lama Lampu Menyala	9 jam 59 menit 57 detik	10 jam 0 menit 0 detik	9 jam 57 menit 48 detik	9 jam 59 menit 54 detik	9 jam 59 menit 55 detik	0 jam 1 menit 11 detik	0 jam 0 menit 20 detik
Timer Lampu	0 jam 0 menit 3 detik	0 jam 0 menit 6 detik	0 jam 2 menit 0 detik	0 jam 0 menit 0 detik	0 jam 0 menit 3 detik	0 jam 1 menit 11 detik	0 jam 0 menit 18 detik
Keterangan	Valid	Valid	Valid	Valid	Valid	Valid	Valid

4.3. Hasil Pengujian User Interface

Pengujian *user interface* dilakukan memastikan *user interface* dapat digunakan untuk *monitoring*, mengendalikan dan mengatur berbagai parameter sistem dengan baik. Hasil Pengujian *user interface* dapat dilihat pada Tabel 4. Tampilan *user interface* pada aplikasi IoT MQTT Panel dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan *user interface*

Tabel 4. Pengujian user interface

Pengujian	Tahapan	Keterangan	Status
Halaman <i>Monitoring</i>	Menampilkan data <i>monitoring</i> intensitas cahaya berupa <i>gauge</i> dan grafik	Tertampil data <i>monitoring</i> intensitas cahaya berupa <i>gauge</i> dan grafik	Berhasil
	Menampilkan LED <i>grow light</i>	Tertampil status LED <i>grow light</i>	Berhasil
	Menampilkan informasi tambahan lama cahaya yang didapat	Tertampil informasi berupa lama cahaya yang didapat	Berhasil
Halaman Kontrol	Menampilkan <i>Switch</i> pemilihan mode manual/otomatis	Tertampil <i>switch</i> dan dapat dilakukan pergantian mode pada sistem, baik mode manual maupun mode otomatis	Berhasil
	Menampilkan sakelar manual untuk ON/OFF LED <i>grow light</i>	Tertampil sakelar dan dapat dilakukan kontrol terhadap ON/OFF LED <i>grow light</i>	Berhasil
	Menampilkan peng- <i>input</i> -an angka untuk menyalakan <i>timer</i> lampu	Tertampil peng- <i>input</i> -an dan dapat di- <i>input</i> -kan untuk menyalakan <i>timer</i> lampu	Berhasil
Halaman Kontrol	Menampilkan sakelar untuk ON/OFF <i>timer</i> penyalan lampu	Tertampil sakelar dan dapat dilakukan ON/OFF <i>timer</i> penyalan lampu	Berhasil
	Menampilkan lama lampu, lampu beserta tombol <i>reset</i> waktunya	Tertampil keterangan lama lampu dan waktu lampu serta dapat dilakukan <i>reset</i>	Berhasil
	Menampilkan tombol <i>timer</i>	Tertampil tombol <i>timer</i> dan dapat hitung lama cahaya	Berhasil
	Menampilkan tombol penyalan lampu	Tertampil tombol dan dapat menyalakan lampu	Berhasil
Halaman <i>Setting</i>	Menampilkan <i>slider</i> untuk pengaturan <i>set point</i> intensitas cahaya	Tertampil <i>slider</i> dan dapat dilakukan pengaturan <i>set point</i> intensitas cahaya	Berhasil
	Menampilkan peng- <i>input</i> -an untuk melakukan intensitas cahaya	Tertampil peng- <i>input</i> -an dan dapat dilakukan <i>input</i> nilai faktor kalibrasi untuk kalibrasi intensitas cahaya	Berhasil
	Menampilkan peng- <i>input</i> -an untuk melakukan setting waktu <i>reset</i> , setting waktu cahaya+, setting waktu lampu+	Tertampil peng- <i>input</i> -an dan dapat dilakukan <i>input setting</i> waktu <i>reset</i> RTC, pengaturan waktu cahaya dan pengaturan waktu lampu	Berhasil
	Menampilkan <i>switch</i> START/STOP untuk jeda waktu perhitungan	Tertampil <i>switch</i> dan dapat dilakukan jeda penghitungan waktu cahaya dan waktu lampu	Berhasil
	Menampilkan <i>button</i> untuk <i>reset</i> semua waktu penghitungan	Tertampil <i>button</i> dan dapat dilakukan <i>reset</i> untuk semua perhitungan waktu	Berhasil

4.4. Perbandingan dengan Penelitian Lain

Berdasarkan penelitian lain yang dijadikan sebagai rujukan [5], [6], terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang dilakukan. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian lain

Aspek	Penelitian yang dilakukan	Penelitian rujukan 1	Penelitian rujukan 2
Judul	(Peningkatan Produktivitas Tanaman Melalui Sistem Pencahayaan <i>Greenhouse</i> Berbasis <i>Internet of things</i>)	(Rancang Bangun dan Uji Performansi Alat Pencahayaan Otomatis Berbasis <i>Photoperiodic</i> pada Pembenihan Kentang (<i>Solanum tuberosum</i> L.) dalam <i>Greenhouse</i>)	(Otomatisasi Pengendalian Pencahayaan untuk Tanaman Selada (<i>Lactuca sativa</i> L.) dengan Sistem Tanam Hidroponik di dalam <i>Greenhouse</i>)
Fokus Tanaman	Umum (tidak spesifik jenis tanaman)	Kentang (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Selada (<i>Lactuca sativa</i> L.))
Tujuan Penelitian	Menyediakan pencahayaan minimal 10 jam/hari secara otomatis	Meningkatkan pertumbuhan benih kentang melalui	Menjaga intensitas cahaya konstan 25 lx untuk

	dan efisien melalui sistem IoT	pencahayaian <i>photoperiodic</i> otomatis	tanaman selada dalam sistem hidroponik
Teknologi yang Digunakan	ESP32 WROOM-32U, BH1750FVI, MQTT, RTC, Node-RED, IoT MQTT Panel, <i>Google Spreadsheet</i>	ATmega16, sensor fotodioda, sistem lokal	Arduino, sensor fotodioda, sistem lokal
Basis Sistem	<i>Internet of Things (IoT)</i> dengan <i>cloud-based monitoring & control</i>	Otomatisasi lokal berbasis mikrokontroler	Otomatisasi lokal berbasis mikrokontroler
Sistem Kontrol	Otomatis berbasis waktu (RTC) dan intensitas (≥ 1000 lux), dengan kontrol manual <i>via smartphone</i>	<i>Photoperiodic</i> (berdasarkan durasi siang dan malam), tanpa sistem online	Otomatisasi berdasarkan intensitas cahaya tetap (25 lx)
Aktuator	LED <i>Grow Light</i> dikendalikan melalui relay	Lampu LED biasa (kemungkinan), tidak dijelaskan rinci	Lampu LED, dikontrol berdasarkan lux
Pemantauan Jarak Jauh	Ya, melalui IoT MQTT Panel dan <i>Spreadsheet</i>	Tidak	Tidak
Evaluasi dan akurasi Sensor	Ya, kalibrasi BH1750FVI hingga akurasi 99,81%	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan
Hasil	Pencahayaian konsisten dan efisien, mendukung produktivitas tanaman, sistem <i>valid</i> dalam 7 pengujian	Peningkatan diameter dan bobot benih kentang dengan sistem <i>photoperiodic</i>	Sistem mampu menjaga pencahayaian konstan sesuai set point, berpengaruh pada pertumbuhan tanaman selada

4.5. Pembahasan

Sensor yang digunakan pada sistem memiliki akurasi 99,81%, memastikan pengendalian pencahayaian yang presis dan mendukung fotosintesis optimal pada tanaman. Sinar UV dari LED meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan produksi metabolit sekunder. Protokol MQTT memungkinkan akses data melalui Node-RED dan IoT MQTT Panel, meningkatkan efisiensi pengelolaan *greenhouse*.

5. Kesimpulan

Sistem *smart greenhouse* berbasis IoT menggunakan ESP32 WROOM-32U berhasil meningkatkan produktivitas tanaman melalui pengendalian pencahayaian *greenhouse*, dengan akurasi sensor BH1750FVI sebesar 99,81%. LED *grow light* dapat memastikan durasi cahaya yang diterima oleh tanaman minimal 10 jam per hari, sehingga mendukung proses fotosintesis dan kualitas tanaman. Pemantauan jarak jauh melalui MQTT dan penyimpanan data di *Google Spreadsheets* juga meningkatkan efisiensi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya ucapkan kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman melalui kegiatan PKM Berbasis Riset 2024.

Daftar Pustaka

- [1] K. J. McCree, "The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis In Crop Plants," *Agricultural Meteorology*, vol. 9, pp. 191–216, 2019.
- [2] R. J. Bula, T. W. Tibbitts, and R. C. Morrow, "Light Emitting Diodes as A Radiation Source for Plants," *HortScience*, vol. 26, no. 2, pp. 203–205, 2018.
- [3] A. G. Gad, Habiba, X. Zheng, and Y. Miao, "Low Light/Darkness as Stressors of Multifactor-Induced Senescence in Rice Plants," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 22, no. 8, p. 3936, Apr. 2021.
- [4] B. Susanti, "Analisis dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian di Indonesia," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 24, no. 3, pp. 189–197, 2019.
- [5] L. Amaliyah and A.S. Pambudi, "Rancang Bangun dan Uji Performansi Alat Pencahayaan Otomatis Berbasis Photoperiodic pada Pembenihan Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dalam Greenhouse di Desa Sumberbrantas Kota Batu," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 3, no. 3, pp. 227 – 236, 2015.
- [6] D. F. Komala and Sumarna, "Otomatisasi Pengendalian Pencahayaan Untuk Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Dengan Sistem Tanam Hidroponik Di Dalam Greenhouse," *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, vol. 6, no. 3, pp. 159-165, 2017.
- [7] Eni Dwi Wardihani et al., "Pemantauan dan Pengendalian Parameter Greenhouse Berbasis IoT Dengan Protokol MQTT," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 13, no. 1, pp. 38–43, Feb. 2024.
- [8] Ristian, I. Ruslianto, and K. Sari, "Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 8, no. 1, pp. 87–94, Apr. 2022.
- [9] R. Hermawan, S. Maesaroh, and D. R. Adhy, "Implementasi Sistem Monitoring Greenhouse Berbasis IoT dan Evaluasi Kinerja Server Menggunakan Node-RED dan MQTT," *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, vol. 14, no. 1, pp.30-35, 2024.
- [10] M. A. M. Al-Shehari and M. A. Al-Aghbari, "MQTT-based IoT for smart agriculture: A review," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 8, pp. 5678–5692, 2022.
- [11] S. H. Lee, J. K. Park, and S. M. Kim, "Design of IoT-based greenhouse monitoring system using ESP32," *Journal of Sensors*, vol. 2020, pp. 1–8, 2020.
- [12] C. Wang, X. Li, and Y. Zhang, "IoT-based smart greenhouse lighting control system," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 178, pp. 105–112, 2020.
- [13] S. Wahyu, M. Syafaat, A. Yuliana, and R. Meliyani, "Aplikasi Sensor BH1750 Untuk Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Cabai Menggunakan Arduino Bertenaga Surya Terintegrasi IoT," *Jurnal Teknologi dan Aplikasi Fisika (JTAF)*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, 2022.
- [14] P. K. Sharma, P. Kumar, and R. Kumar, "Precision agriculture using IoT and cloud computing," *Procedia Computer Science*, vol. 165, pp. 183–190, 2019.
- [15] S. M. Sutan, D. Kadarisman, S. Hosni, and F. Fadlillah, "Rancang Bangun Sistem Irigasi dan Pemberian Nutrisi Otomatis Berbasis RTC (Real Time Clock) pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 9, no. 2, pp. 181–190, 2021.
- [16] D. T. Al-Fuqaha, A. Khreishah, M. Guizani, and A. Rayes, "The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey," *International Journal of Computer Applications*, vol. 975, no. 8887, pp. 1–8, 2020.

This Page Intentionally Left Blank